昆 虫 学 报 *Acta Entomologica Sinica*，August 2002，45（4）：447 – 452 ISSN 0454-6296

褐飞虱抗甲胺磷品系的交互抗性和抗性生化机制

刘泽文，韩召军，张玲春
（南京农业大学，农业部病虫监测与治理基础实验室，南京 210095）

摘要：用甲胺磷筛选的褐飞虱 *Nilaparvata lugens* 品系（R），对甲胺磷的抗性达到 43.74 倍，对马拉硫磷、二嗪磷、异丙威、仲丁威及醚菊酯都表现出一定的交互抗性，而对氰戊菊酯和吡虫啉的交互抗性不显著。为了研究褐飞虱对甲胺磷抗性和对其它药剂交互抗性产生的机制，进行了活体增效试验和离体生化实验。用 2 μg/头的增效剂预处理试虫的活体增效实验结果显示，在甲胺磷筛选品系（R）中，TPP（triphenyl phosphate，磷酸三苯酯）对甲胺磷的增效倍数达到 4.54，TPP 对马拉硫磷、二嗪磷、仲丁威、异丙威都表现出一定的增效作用，增效比分别为 2.76、2.07、2.17 和 1.64；PBO（piperonyl butoxide，胡椒基丁醚）对甲胺磷、马拉硫磷和醚菊酯有一定的增效作用；DEM（diethyl meteate，顺丁烯二酸二乙酯）的增效作用不明显。研究离体情况下增效剂对三种解毒酶活性的影响发现，TPP 对 R 品系酯酶活力抑制作用很强（抑制率 69.04%），PBO 对多功能氧化酶（MFO）具有一定的抑制作用（抑制率 29.30%），而 TPP 和 PBO 在 F 品系和 S 品系中对酯酶和 MFO 的抑制作用都较小；DEM 在三个品系中对谷胱甘肽-S-转移酶的抑制作用都很小。由此可见，酯酶在褐飞虱对甲胺磷的抗性中起最主要作用，在马拉硫磷、二嗪磷、异丙威和仲丁威的交互抗性中起很重要作用；MFO 可能在甲胺磷抗性和醚菊酯、马拉硫磷的交互抗性中起一定作用。

关键词：褐飞虱；甲胺磷；交互抗性；增效作用；解毒酶
中图分类号：Q965.9　**文献标识码**：A　**文章编号**：0454-6296（2002）04-0447-06

Cross resistance of methamidophos resistant strain of brown planthopper and the biochemical mechanism responsible

LIU Ze-Wen，HAN Zhao-Jun，ZHANG Ling-Chun（Key Laboratory of Monitoring and Management of Plant Diseases and Insects，Nanjing Agricultural University，Nanjing 210095，China）

Abstract：The R strain selected for methamidophos resistance displayed 43.74-fold resistance to methamidophos and also had cross resistance to malathion，diazinon，isoprocarb，fenobucarb and ethofenprox，but no cross resistance to fenvalerate and imidacloprid. To find out the biochemical mechanism of resistance to methamidophos and cross resistance to other insecticides，we performed synergistic bioassay and biochemical assay. In R strain，the synergistic bioassay showed that TPP（triphenyl phosphate）significantly synergized methamidophos（SR：4.52）and moderately synergized malathion（SR：2.76），diazinon（SR：2.07），fenobucarb（SR：2.17）and isoprocarb（SR：1.64）. PBO（piperonyl butoxide）partially synergized methamidophos（SR：2.24），malathion（SR：1.86）and ethofenprox（SR：1.73）. Biochemical assay showed that esterase activity in the R-strain was 7.93 times that in S-strain，in which the changed activity for MFO was 1.98 and for GST only 1.44. TPP could significantly inhibit esterase activity（PI：69.04%）in the R strain，with MFO's PI 29.30% by PBO. The results indicated that esterase played important role in the biochemical mechanism of methamidophos resistance and，to a lesser extent，cross resistance to malathion，diazinon，fenobucarb and isoprocarb. MFO might play some role in resistance to methamidophos and cross resistance to malathion and ethofenprox.

Key words：*Nilaparvata lugens*；methamidophos；cross resistance；synergism；detoxifying enzymes

褐飞虱 *Nilaparvata lugens* Stål（brown planthopper，BPH）是亚洲稻区危害水稻最严重的害虫之一（巫国瑞等，1987）。长期以来国内外对褐飞虱的防治主要是以化学防治为主（Nagata，1982），自日本1969 年发现褐飞虱对丙体六六六产生抗药性（Nagata *et al.*，1974）以来，大量监测表明褐飞虱对许多药剂产生了抗性。我国的监测表明，20 世纪 80 年代以来，褐飞虱对甲胺磷的的敏感性逐渐下降，

基金项目：973 国家重点基础研究项目（J20000162）
第一作者简介：刘泽文，男，1977 年 10 月生，南京农业大学植物保护学院 2001 级博士研究生
收稿日期 Received：2001-12-24；接受日期 Accepted：2002-05-21

1995 年抗药性达到 13 倍（王荫长等，1996）；刘贤进等（1996）报道褐飞虱对甲胺磷的抗性也达到 10 倍以上。一般认为迁飞和农药品种的更替是褐飞虱抗性变化的主要原因，但许多报道认为部分药剂与有机磷杀虫剂有交互抗性（Dai *et al*.，1984；Ozaki *et al*.，1984），所以在有机磷杀虫剂与其它药剂更替使用时必须考虑到药剂间的交互抗性。褐飞虱抗药性产生的机理复杂，但在所有导致抗性产生的昆虫生化防御体系中，代谢因子通常起着最重要的作用（Oppenoorth *et al*.，1976）。褐飞虱体内对杀虫剂代谢抗性主要是因为羧酸酯酶、谷胱甘肽-S-转移酶和多功能氧化酶的解毒作用增强，其中羧酸酯酶起主要作用（Hung *et al*.，1990；Gu *et al*.，1993）。本文作者从毒力测定、增效实验和生化分析研究三个方面研究褐飞虱对甲胺磷抗性以及与其它药剂交互抗性产生的生化机理，可以为交互抗性治理提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

敏感品系（S）：2000 年 4 月由江苏省农科院植保所提供多年室内饲养的褐飞虱，经室内在不接触任何农药的条件下继续饲养繁育而成。不筛选的田间品系（F）：2000 年 7 月采集于南京市江浦县植保站试验田的褐飞虱，在室内不接触任何农药的条件下饲养，繁育 8 代。甲胺磷筛选品系（R）：对 2000 年 7 月采集于南京市江浦县植保站试验田的褐飞虱用甲胺磷 LD_{50} 剂量进行筛选，连续筛选 8 代，到目前为止抗药性达到 43.74 倍。

1.2 供试药剂和试剂

98.2%甲胺磷（Bayer 公司产品），99.9%马拉硫磷，95.4%二嗪磷（Nippon Kayaku Co，Ltd），97.5%异丙威（三菱化学株式会社），98.4%仲丁威（三菱化学株式会社），99.0%醚菊酯（三井化学株式会社），94.0%氰戊菊酯，98.0%吡虫啉，磷酸三苯酯（TPP）（分析纯，上海生化试剂一厂），胡椒基丁醚（PBO）（Sigma 产品），顺丁烯二酸二乙酯（DEM）（化学纯，上海试剂三厂），α-乙酸萘酯（α-NA）（化学纯，上海试剂一厂），固蓝 RR 盐（Fluka 产品），2，4 二硝基氯苯（CDNB）（化学纯，上海试剂一厂），1，2-二氯-4-硝基苯（DCNB）（德国 Merck 产品），还原型谷胱甘肽（GSH）（Sigma 进口分装），对硝基苯甲醚（p-NA）（分析纯，北京化工厂），还原型辅酶 Ⅱ 四钠盐（NADPH Na4）（Sigma 产品），对-硝基苯酚（分析纯，江苏吴江市青云精细化工厂）。

1.3 毒力测定方法

参照 Nagata（1982）的方法并加以改进。供试昆虫用 CO_2 麻醉 15 s，然后用手动微量点滴器（Toru Nagata 教授提供，使用体积为 0.0403 μL）将药液点滴在长翅型雌成虫的前胸背板上。每个药剂均用丙酮稀释成 5～6 个浓度，每个浓度处理 30 头，重复 3 次，用丙酮作对照。处理后的试虫倾入装有无土栽培稻苗的饲养杯（Toru Nagata 教授提供）中，每个饲养杯放 15 头；然后将饲养杯放在 25±1℃的光照培养箱内，光照周期为 16L/8D，相对湿度为 70%～80%。饲养 24 h 后检查结果。

1.4 增效作用测定

用 2 μg/头的增效剂（TPP，PBO 或 DEM）预点滴处理试虫，1 h 后按上述方法进行毒力测定。测定结果（LD_{50}）与不使用增效剂的测定结果相比较，计算增效比（SR）。

$$\text{增效比（SR）} = \frac{\text{药剂单用时的 } LD_{50} \text{ 值}}{\text{用增效剂预处理后的 } LD_{50} \text{ 值}}$$

1.5 酯酶活力测定

参照 Han 等（1998）方法。取 3 龄若虫 20 头，用 2 mL 磷酸缓冲液（0.02 mol/L，pH 7.0）匀浆，然后在 4 000 ×g、4℃下离心 15 min，取上清液作酯酶酶液。取 100 μL 酶液加到酶标板孔中，然后再加入 100 μL 的 α-乙酸萘酯（2×10^{-3} mol/L）和固蓝 RR 盐（1.5×10^{-3} mol/L）混合液，在酶标仪上波长 450 nm 处测 OD 值。每个处理重复 32 次。

1.6 谷胱甘肽-S-转移酶活力测定

参照 Kao 等（1989）方法，取 20 只褐飞虱 3 龄若虫在 5 mL Tris-HCl 缓冲液（0.1 mol/L，pH 8.0，含 10×10^{-3} mol/L 还原型谷胱甘肽）中匀浆，然后在 10 000×g、4℃离心 15 min，取上清液作酶液备用。取 100 μL 酶液，加 1.4 mL Tris-HCl 缓冲液（0.1 mol/L，pH 8.0），在 25℃保温 5 min，加 60 μL 30×10^{-3} mol/L CDNB（丙酮配制），在 752 紫外光分光光度计（上海第三分析仪器厂）上波长 340 nm 处测 OD 值。每个处理重复 15 次。

1.7 多功能氧化酶活力测定

参照 Hung 等（1984）方法，并加以改进。取 50 只褐飞虱 3 龄若虫在 5 mL 磷酸缓冲液（0.2 mol/L，pH 7.8）中充分匀浆，然后在 10 000 ×g，0℃离心 15 min，取上清液作酶液备用。将 1 mL 酶液、

0.5 mL NADPH（1×10^{-3} mol/L，缓冲液配制）、0.1 mL 对硝基苯甲醚（0.1×10^{-3} mol/L，缓冲液配制）和 2.5 mL 缓冲液依次加入试管内，置于 34℃恒温气浴摇床中振荡 30 min，然后加 1 mL 1 mol/L HCl 终止反应。往试管中加入 5 mL 乙醚萃取，分层后在氯仿层移取 3 mL 到另一试管内，加入 3 mL 0.5 mol/L NaOH 溶液萃取。取 NaOH 溶液层 2 mL 于比色皿中，在波长 400 nm 处测定 OD 值。用对硝基苯酚制作标准曲线，根据所测定的 OD 值，在标准曲线上计算产物生成量。每个处理重复 15 次。

1.8 增效剂对酶活性抑制作用

用 0.04 μg/头的增效剂预点滴处理试虫，1 h 后按上述不同酶的制备方法制备各自的酶液及测定此时的酶活性，计算抑制率（percentage of inhibition，PI）。

$$PI=\left(1-\frac{\text{用增效剂处理后的酶活性}}{\text{不用增效剂处理的酶活性}}\right)\times100\%$$

2 结果与分析

2.1 抗性品系对常用杀虫剂的交互抗性

从表 1 可以看出，对甲胺磷有 43.74 倍抗性的褐飞虱品系（R）对马拉硫磷、二嗪磷、异丙威、仲丁威分别有 21.40、19.87、14.60 和 18.41 倍的抗性，均达中抗水平；对醚菊酯的抗性也达到了 9.43 倍，接近中抗水平；对氰戊菊酯处于敏感性下降阶段，而对吡虫啉的敏感性仍然很高。由此可见，褐飞虱对甲胺磷的抗性品系对马拉硫磷、二嗪磷、异丙威、仲丁威以及醚菊酯都有不同程度的交互抗性，而对氰戊菊酯和吡虫啉的交互抗性不显著，尤其是后者。

表 1 几种药剂对褐飞虱 3 个品系的毒力

Table 1 Toxicity of some insecticides to 3 strains of *N. lugens*

药剂 Insecticides		敏感品系 (S)	不筛选的田间品系 (F)	甲胺磷筛选品系 (R)	抗性变化 Resistance change
甲胺磷 methamidophos	LD_{50} (μg/female)	0.005337 ± 0.000285	0.022451 ± 0.000974	0.233440 ± 0.010038	39.53
	b 值	4.1372	3.4607	1.9953	
	抗性倍数 RR	1.00	4.21	43.74	
马拉硫磷 malathion	LD_{50} (μg/female)	0.010974 ± 0.003115	0.120742 ± 0.007613	0.234844 ± 0.012518	10.40
	b 值	3.2566	2.7441	2.3981	
	抗性倍数 RR	1.00	11.00	21.40	
二嗪磷 diazinon	LD_{50} (μg/female)	0.005027 ± 0.000261	0.061215 ± 0.002043	0.099886 ± 0.004670	7.69
	b 值	4.1970	3.5316	3.0458	
	抗性倍数 RR	1.00	12.18	19.87	
异丙威 isoprocarb	LD_{50} (μg/female)	0.001976 ± 0.000082	0.012538 ± 0.000760	0.026222 ± 0.001051	7.62
	b 值	3.9543	3.1377	2.8512	
	抗性倍数 RR	1.00	6.98	14.60	
仲丁威 fenobucarb	LD_{50} (μg/female)	0.002447 ± 0.000102	0.018547 ± 0.000864	0.045049 ± 0.002017	10.83
	b 值	2.9813	2.8472	2.1755	
	抗性倍数 RR	1.00	7.58	18.41	
醚菊酯 ethofenprox	LD_{50} (μg/female)	0.001006 ± 0.000038	0.004729 ± 0.000194	0.009487 ± 0.000346	4.73
	b 值	4.7141	3.9457	3.1863	
	抗性倍数 RR	1.00	4.70	9.43	
氰戊菊酯 fenvalerate	LD_{50} (μg/female)	0.006012 ± 0.000235	0.034509 ± 0.001036	0.047675 ± 0.001573	2.19
	b 值	2.9461	2.4558	2.2162	
	抗性倍数 RR	1.00	5.74	7.93	
吡虫啉 imidacloprid	LD_{50} (μg/female)	0.000094 ± 0.000004	0.000324 ± 0.000016	0.000393 ± 0.000013	0.73
	b 值	3.1692	2.5847	2.3966	
	抗性倍数 RR	1.00	3.45	4.18	

注 Note：抗性变化指甲胺磷筛选品系的抗性倍数与不筛选的田间品系的抗性倍数的差值 Resistance change = RR of R strain − RR of F strain. S: susceptible strain; F: field strain; R: resistant strain. The same for the following tables

2.2 活体增效实验

从表2可以看出，在R品系中，TPP对甲胺磷的增效作用很大，增效比达到4.52倍，PBO也有一定的增效作用（2.24倍），而DEM仅有微弱的增效作用（1.53倍）；TPP对马拉硫磷、二嗪磷、仲丁威、异丙威都表现出一定的增效作用，增效比分别为2.76、2.07、2.17和1.64；PBO对马拉硫磷和醚菊酯都有一定的增效作用，增效比分别为1.86和1.73；DEM除甲胺磷外，对其它药剂几乎都没有增效作用。

表2 增效剂对几种药剂的增效作用

Table 2 Synergistic effect of the synergist to some insecticides

药剂 Insecticides		—	+ TPP	+ PBO	+ DEM
甲胺磷 methamidophos	LD_{50}	0.233440 ± 0.010038	0.051646 ± 0.001753	0.104214 ± 0.003211	0.152575 ± 0.003934
	b 值	1.9953	1.6574	1.8152	1.9087
	增效比 SR	1.00	4.52	2.24	1.53
二嗪磷 diazinon	LD_{50}	0.099886 ± 0.004670	0.048254 ± 0.001560	0.082550 ± 0.003613	0.079275 ± 0.002481
	b 值	3.0458	2.6146	2.8553	3.1271
	增效比 SR	1.00	2.07	1.21	1.26
马拉硫磷 malathion	LD_{50}	0.234844 ± 0.012518	0.085088 ± 0.003508	0.126260 ± 0.002935	0.189390 ± 0.008511
	b 值	2.3981	1.9653	2.1376	2.2682
	增效比 SR	1.00	2.76	1.86	1.24
异丙威 isoprocarb	LD_{50}	0.026222 ± 0.001051	0.015989 ± 0.000443	0.019865 ± 0.000716	0.021852 ± 0.000667
	b 值	2.8512	2.4416	2.1972	2.5308
	增效比 SR	1.00	1.64	1.32	1.20
仲丁威 fenobucarb	LD_{50}	0.045049 ± 0.002017	0.024701 ± 0.000942	0.031284 ± 0.001165	0.038503 ± 0.000818
	b 值	2.1755	2.3416	1.9503	2.2600
	增效比 SR	1.00	2.17	1.44	1.17
醚菊酯 ethofenprox	LD_{50}	0.009487 ± 0.000346	0.007529 ± 0.000117	0.005484 ± 0.000093	0.008322 ± 0.000080
	b 值	3.1863	2.7532	2.5617	2.8083
	增效比 SR	1.00	1.26	1.73	1.14
吡虫啉 imidacloprid	LD_{50}	0.000393 ± 0.000013	0.000354 ± 0.000016	0.000287 ± 0.000009	0.000374 ± 0.000021
	b 值	2.3966	2.1374	2.5028	1.9765
	增效比 SR	1.00	1.11	1.37	1.05

2.3 生化分析

2.3.1 酯酶活力测定：从表3可以看出，甲胺磷筛选品系体内酯酶活力是敏感品系的7.93倍，TPP对R品系酯酶抑制率达到69.04%，而在S品系中抑制率仅有11.56%，F品系的抑制率也只有31.73%，表明酯酶在褐飞虱对甲胺磷的抗性以及对其它药剂的交互抗性中起到很重要的作用。

2.3.2 多功能氧化酶活力测定：表4表明不同品系的MFO活力存在显著差异，并且在R品系中PBO对多功能氧化酶的抑制率达到29.30%，而S品系和F品系的抑制率分别只有4.79%和7.56%，说明多功能氧化酶在甲胺磷的抗性中起到一定的作用。

2.3.3 谷胱甘肽-S-转移酶（GSTs）活性测定：从表5来看，在3个品系中的酶活力以及DEM的抑制率都没有显著的差异，表明GSTs在褐飞虱对甲胺磷的抗性中可能不起十分重要的作用。

表 3 各品系体内的酯酶活力及 TPP 的抑制作用

Table 3 Esterase activities in 3 strains and inhibition by TPP

品系 Strains	不使用 TPP 的酯酶活力 Esterase activity without TPP	活性变化 The change of activity	使用 TPP 的酯酶活力 Esterase activity with TPP	抑制率（%） PI
敏感品系 S	1.228 ± 0.27 a	1.00	1.086 ± 0.44 a	11.56
田间品系 F	2.332 ± 0.41 b	1.90	1.592 ± 0.52 ab	31.73
筛选品系 R	9.734 ± 1.06 c	7.93	3.014 ± 0.86 b	69.04

酶活力单位 Unit：μmol α-NA hydrolyzed/min/mg protein（μmol/min/mg）；表中数值后的字母为差异显著性分析，不同字母表示 0.05 水平上存在差异 The different letters in the above and following tables indicate significant differences at the 0.05 level

表 4 多功能氧化酶（MFO）活性及 PBO 的抑制作用

Table 4 MFO activities in 3 strains and inhibition by PBO

品系 Strains	不使用 PBO 的酶活力 Activity without PBO	活性变化 The change of activity	使用 PBO 的酶活力 Activity with TPP	抑制率（%） PI
敏感品系 S	1.88 ± 0.37 a	1.00	1.79 ± 0.55 a	4.79
田间品系 F	2.25 ± 0.54 ab	1.20	2.08 ± 0.74 a	7.56
筛选品系 R	3.72 ± 0.85 b	1.98	2.63 ± 1.02 a	29.30

酶活力单位 Unit：pmol methoxyresorufin O-deethylased /min/mg protein（pmol/min/mg）

表 5 谷胱甘肽-S-转移酶（GSTs）活性及 DEM 的抑制作用

Table 5 GSTs activities in 3 strains and inhibition by DEM

品系 Strains	不使用 DEM 的酶活力 Activity without PBO	活性变化 The change of activity	使用 DEM 的酶活力 Activity with TPP	抑制率（%） PI
敏感品系 S	109.35 ± 2.04 a	1.00	106.32 ± 3.06 a	2.77
田间品系 F	121.73 ± 7.28 b	1.11	114.24 ± 9.44 b	6.15
筛选品系 R	157.44 ± 10.57 c	1.44	139.77 ± 14.32 c	11.22

酶活力单位 Unit：μmol CDNB conjugated/min/mg protein（μmol/min/mg）

3 讨论

对甲胺磷有 43.74 倍抗性的褐飞虱品系，对其它部分药剂表现出一定的交互抗性，包括马拉硫磷、二嗪磷、异丙威、仲丁威以及醚菊酯等。所以在药剂混用和轮用时，要充分了解混用或轮用的杀虫剂之间的相互影响，必须确认药剂间没有交互抗性才能使用。针对目前田间种群对常规甲胺磷类和氨基甲酸酯杀虫剂具有不同程度的抗性现状，它们之间的混用与轮用存在很大的限制。氰戊菊酯田间抗性低，与甲胺磷之间没有明显的交互抗性，作为有机磷杀虫剂的一个混用或轮用品种存在一定价值；但是，除了台湾省外，氰戊菊酯在我国使用较少，只有极少数地区使用该药剂防治飞虱。R 品系没有表现出对吡虫啉明显的交互抗性，而且田间品系对该药剂的抗性很低，加上防治飞虱的突出效果，使得该药剂成为与常规有机磷和氨基甲酸酯杀虫剂混用或轮用的首选品种。然而，当前吡虫啉的使用存在严重的单一使用、连续使用等问题。吡虫啉在其它同翅目害虫中抗性的出现（张彦英等，1999），为该药在飞虱防治中的合理使用提出了严格的要求。

TPP 在 R 品系中对甲胺磷的增效倍数为 4.52 倍，酯酶在 R 品系中的活力是 S 品系的 7.93 倍，TPP 对 R 品系体内酯酶的抑制率显著高于 S 品系和 F 品系，说明酯酶是 R 品系高抗性的主要原因。另外，MFO 的活力在 R 和 S 品系中也有明显差异，PBO 对甲胺磷有一定的增效作用，说明 MFO 也是褐飞虱对甲胺磷产生高水平抗性的原因。生化分析表明，DEM 在 R 品系中的增效不显著，说明 GSTs 对甲胺磷抗性的作用不大。

从交互抗性药剂马拉硫磷、二嗪磷、异丙威和仲丁威的增效实验来看，具有明显增效作用的是 TPP，说明 R 品系的高酯酶活力是产生对这几种药剂交互抗性的主要原因。其次，PBO 对产生交互抗

性的醚菊酯和马拉硫磷也有一定的增效作用，说明MFO可能在醚菊酯和马拉硫磷交互抗性中发挥一定的作用。

致谢 感谢日本茨城大学Toru Nagata教授提供的药剂和手动微量点滴器；2002届本科毕业实习生董钊同学从事了部分抗药性监测工作，在此表示感谢。

参 考 文 献 (References)

Dai S M, Sun C N, 1984. Pyrethroid resistance and synergism in *Nilaparvata lugens* Stål (Homoptera: Delphacidae) in Taiwan. *J. Econ. Entomol.*, 77: 4 891 – 4 897.

Gu C J, Chen W L, 1993. Detoxifying enzymes of the brown planthopper (BPH). *International Rice Research Notes*, 18: 3, 37.

Han Z J, Moores G D, Jan D, Alan L D, 1998. Association between biochemical marks and insecticide resistance in the cotton aphid, *Aphis gossypii* Glover. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 62 (3): 164 – 171.

Hung C F, Kao C H, Liu C C, Lin J G, Sun C N, 1990. Detoxifying enzymes of selected insect species with chewing and sucking habits. *J. Econ. Entomol.*, 83: 2 361 – 2 365.

Hung C F, Sun C N, 1989. Microsomal monooxygenases in diamondback moth larvae resistant to fenvalerate and piperonyl butoxide. *Pestic. Biochem. Physiol.*, 33: 1 – 175.

Kao C H, Fu C, Sun C N, 1989. Parathion and methyl parathion resistance in diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) larvae. *Journal of Economic Entomology*, 82: 1 299 – 1 304.

Liu X J, Gu Z Y, 1996. Monitoring and selection of insecticide resistance of the brown planthopper to methamidophos and buprofezin. *Plant Protection*, 22 (2): 3 – 6. [刘贤进，顾正远，1996. 褐飞虱对甲胺磷、扑虱灵的抗药性现状及发展趋势. 植物保护，22 (2): 3 – 6]

Nagata T, 1982. Insecticide resistance and chemical control of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* Stål (Homoptera: Delphacidae). *Bulletin of the Kyushu National Agriculture Experiment Station*, 22: 49 – 164.

Nagata T, Moriya S, 1974. Resistance in the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* Stål to lindane. *Jap. J. Appl. Entomol. Zool.*, 18: 73 – 80.

Oppenoorth F J, Welling W, 1976. Biochemistry and physiology of resistance. In: Wilkinson C F *et al*. eds. Insecticide Biochemistry and Physiology. New York: Plenum Press. 507 – 551.

Ozaki K, Kassai T, 1984. Cross resistance patterns in malathion-and fenitrothion-resistant strains of the rice brown planthopper, *Nilaparvata lugens* Stål. *J. Pestic. Sci.*, 9: 1 151 – 1 154.

Wang Y C, Li G Q, Ding S Y, Dong X H, Tian X Z, Gao B Z, 1996. The variation of resistance level of *Nilaparvata lugens* to conventional insecticides among years. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 19 (suppl.): 1 – 8. [王荫长，李国清，丁示银，董习华，田学志，高保宗，1996. 褐飞虱对常用药剂敏感性的年度间变化规律. 南京农业大学学报，19 (增): 1 – 8]

Wu G R, Hu C, 1987. Planthopper. Beijing: Agricultural Press. [巫国瑞，胡萃，1987. 稻飞虱. 北京：农业出版社]

Zhang Y Y, Zhang H, 1999. Resistance to imidacloprid, its occurrence possibilities and management. *Pesticides*, 38 (4): 22 – 23. [张彦英，张弘，1999. 吡虫啉抗性产生的可能与治理. 农药，38 (4): 22 – 23]